

粉末鍛造法による急冷凝固アルミ合金粉末の成形固化材の作製と性質

著者	大槻 真人
号	2529
発行年	1999
URL	http://hdl.handle.net/10097/7802

氏 名	おおつきまさと		
授 与 学 位	大 槻 真 人		
学位授与年月日	博士 (工学)		
学位授与の根拠法規	平成12年3月23日		
研究科、専攻の名称	学位規則第4条第1項		
学 位 論 文 題 目	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 材料加工学専攻		
指 導 教 官	粉末鍛造法による急冷凝固アルミ合金粉末の成形固化材の作製と性質		
論文審査委員	東北大学教授 井上 明久	東北大学教授 渡辺 龍三	
	主査 東北大学教授 井上 明久	東北大学教授 丸山 公一	

論 文 内 容 要 旨

1 はじめに

近年、資源・環境保全の観点から、金属材料においては省資源、省エネルギーに寄与する軽量性、リサイクル性が増々重要な要素となっており、アルミニウム合金に対する期待、要求が高まっている。アルミニウム合金に於いて従来から進められてきた溶解冶金的手法による材料特性改善はほぼ限界に達しつつあり、その延長上での更なる飛躍的特性向上は難しくなっていると思われる。一方、非晶質合金の研究に端を発した急冷凝固材料の研究開発によりアルミニウム合金においても従来材と比較して格段に優れた機械的特性を有する材料が見い出されてきている。しかしながら、粉末押出法を中心とする急冷凝固粉末の成形固化法においては低い生産性、材料歩留などにより加工コストが増大したり、急冷凝固合金の本来の材料特性を十分に発揮できず、一部の単純形状の用途以外の工業製品への適用を難しくしている。

そこで本研究では急冷凝固アルミ合金粉末を原料とし、その特性を最大限に引き出しかつ複雑形状付与が可能な成形固化方法としての粉末鍛造法に着目し、これにより従来の成形-焼結プロセスによる鉄系焼結材等に置き換わる軽量機械部品を提供することを最終目標としている。このために、成形固化条件が組織に及ぼす影響を検討し、また種々の合金系に対しその組成、組織が成形固化特性に及ぼす影響を評価することにより、各々の合金系に最適の成形固化条件を見い出し、また得られた部材の機械的特性の評価考察を行なうことを目的とした。

2 内 容

2-1 Al-Si-X系耐摩耗性合金粉末の成形固化材の作製と性質

耐摩耗性合金であるAl-Si-X系合金粉末の粉末鍛造法による成形固化特性と得られた材料の各種の機械的特性を検討し、以下の結果を得た。

- 1) Al-18wt%Si合金粉末では、室温で金型成形した予備成形体はホットコイニングにより緻密化することにより、ある程度の機械的強度と熱間鍛造加工性を持っている。ホットコイニング体を熱間鍛造することにより、粉末間の金属結合が進行し、粉末押出材と同等の機械的特性を示した。
- 2) 耐摩耗性実用合金としてのAl-25%Si-2.5%Cu-1%Mg-1%Fe(wt%)合金において、ホットコイニング-熱間鍛

造の二段粉末鍛造法による成形固化が可能であった。特に本合金は時効硬化型であるが、粉末押出材では十分な効果が出にくいT5処理が有効であり、膨れを生じることなく強度、硬さを確保することが可能であった。その結果、本合金では溶製Al-Si合金と比較して、強度、ヤング率、疲労強度が高く、熱膨張係数が低く、また同組成の粉末押出材と比較しても耐力、疲労強度が大幅に向上している。

3) 以上の結果は、Al-Si-X系急冷凝固粉末粉末鍛造法によりその急冷凝固粉微細組織を維持しつつ成形固化が可能であり、溶製Al-Si合金よりも多量のSiを添加した合金においても、強度、靱性を維持した高強度耐摩耗性機械部品を作製することが可能であることを示している。

2-2 Al-Fe-X系耐熱性合金粉末の成形固化材の作製と性質

溶製アルミニウム合金の弱点の一つである高温強度を改善できるAl-Fe-X系耐熱性合金に対して粉末二段鍛造法を適用し、以下の通り高い塑性変形を付与することにより優れた耐熱性を有する成形固化材が得られた。

- 1) Al-9%Fe-1.5%V-1%Zr (wt%) 合金空気アトマイズ粉末の二段鍛造材に関して、高い鍛造圧下率を施し塑性変形量を増大することにより、常温引張り強度、耐力および伸びは向上する。特に伸びへの影響は顕著である。一方高温引張特性の塑性変形量依存性は小さい。
- 2) 上記の現象は同組成の窒素ガスアトマイズ粉末においても同様であるが、空気アトマイズ粉末材と比較して高い強度を有している。これは、窒素ガスアトマイズ粉末では表面酸化被膜が薄く、塑性変形による粉末間の結合が進行し易いためと考えられる。
- 3) 本粉末鍛造材では高温安定な金属間化合物の微細分散により溶製アルミニウム合金と比較して非常に高い耐熱強度を有する成形固化材が得られた。

2-3 Al-TM-Ln系高比強度合金の成形固化材の作製と性質

非常に高い比強度が見い出されているAl-TM-Ln系合金の成形固化法を検討し、その結果以下の通り粉末直接成形法および粉末圧縮射出成形法を適用することにより、高強度を有する成形固化材が得られた。

- 1) 窒素ガスアトマイズ法で作製した $\text{Al}_{92}\text{Ni}_{4.5}\text{Ti}_{1.5}\text{Cu}_{1.0}\text{Zr}_{0.8}\text{Ce}_{0.2}(\text{at}\%)$ 合金粉末を用いて二軸鍛造プレスを用いる恒温複動成形にて成形固化を行った結果、673K以上の成形温度ではほぼ真密度への緻密化と塑性加工が可能であった。
- 2) 723K、3.6ksec加熱鍛造体では引張強度の平均値は670MPa、破断伸びの平均値は2%であり、同組成の粉末押出材と比較して強度と伸びは8割以上の高い値が得られた。
- 3) 粉末圧縮射出成形法により大きなせん断変形を与えつつ形状付与することにより、粉末直接成形体よりも更に高い強度 (715MPa) と伸び (2.3%) が得られた。
- 4) 室温金型成形の困難なAl-TM-Ln系急冷凝固アルミ合金粉末においても、本手法を用いることにより粉末から一段のプロセスでニアネットシェイプへの成形固化が可能であり、かつ粉末の急冷凝固組織を損なうことなく高い強度が得られることが判った。

2-4 Al-Cr-TM系準結晶分散型合金の成形固化材の作製と性質

強度、延性、耐熱性を兼ね備えた特徴を持っているAl-Cr-TM系準結晶分散型合金粉末の成形固化法を検討し、以下の結果を得た。

- 1) 窒素ガス噴霧 $\text{Al}_{94}\text{Cr}_{2.5}\text{Co}_{1.5}\text{Ce}_{1.0}\text{Zr}_{1.0}(\text{at}\%)$ 急凝固粉末を圧縮射出成形することにより作製した成形固化材では、強度は押出材と同等であり、伸びは7%であり、機械部品として十分許容できる高い値を示した。
- 2) 耐摩耗性の向上を目的として上記組成の原料粉末にSiC粉末を5vol.%添加混合した材料を作製評価した結果、溶製Al-Si合金鍛造材と比較して摩耗量が少なく、溶射材と同等の耐摩耗性および少ない相手攻撃性を有することが判った。

2-5 高速超塑性を利用した成形固化材の作製と性質

粉末圧縮射出成形法の延長として、微細結晶材の高速超塑性特性を利用した成形技術について検討し、以下の結果を得た。

高速超塑性成形装置を設計製作し、基礎試験を行った。本設備によりナノ結晶材料の優れた材料特性を引き出すための最小限の熱履歴によるナノ組織バルク材を創製を試みた。材料の急速加熱と高速成形が可能であり、急凝固アルミ合金が高い超塑性変形能を示す800K付近の高温領域において、材料組織の粗大化や特性低下を殆ど生じない短時間で成形することが可能であることを実証できた。

2-6 工業的応用

前項までに述べた合金系と成形固化法の検討結果を基に、急凝固アルミ合金粉末材の幾つかの機械部品への適用とこれらに適した合金組成、成形固化-形状付与条件を検討し以下の結果を得た。

- 1) Al-25%Si-2.5%Cu-1%Mg-1%Fe (wt%) 粉末鍛造材で作られた家庭用エアコンのスクロールコンプレッサー動羽根は従来の溶製Al-Si鍛造材の2倍のSiを含有する為に大幅に低減した熱膨張係数を有し、鋳鉄製固定羽根の熱膨張係数との差が低減され、吐出性能を落すことなく静寂性が向上した。粉末二段鍛造方式での作製において、鍛造金型の動作を複動型とし、鍛造時羽根先端部に背圧を与えつつ後方押出した結果、テーパのない羽根部を形成することが可能であり、粉末押出材法のような大型のピレットを作製することなく、小型のプリフォームから短工程で製造することが可能であった。
- 2) 自動車変速機部品であるオイルポンプローターへの適用を前提に種々のAl-Si系急凝固粉末材の耐キャビテーションエロージョン性について超音波振動試験法により評価した結果、Fe, Crなどの遷移金属の添加が有効であることが判った。Al-16%Si-10%Fe-2%Cr(wt%)合金を用いてオイルポンプローターを試作し、耐久試験を行い、優れたポンプ性能と十分な耐キャビテーションエロージョン性を有することが判った。
- 3) 自動車エンジン部品であるバルブリフタを $\text{Al}_{94}\text{Cr}_{2.5}\text{Co}_{1.5}\text{Mn}_{1.0}\text{Zr}_{1.0}(\text{at}\%)$ 合金を用いて試作した結果、溶製Al-Si系合金鍛造品と比較して剛性（弾性限荷重/弾性変位）は40%高い値を示した。特に耐摩耗性が要求されるスカート外周部分のみに5vol.%のSiC粉末を含む混合粉末材を配置したバルブリフタを作製することができた。

審査結果の要旨

急凝固アルミニウム合金粉末の機械部品等の複雑形状品への成形固化工程においては、原料粉末の急凝固組織を損なわずに緻密化-形状付与することが重要である。著者は、急凝固アルミ合金粉末の成形固化法として粉末鍛造法に着目し、種々の合金系において短工程で成形固化を可能とする最適条件を見出し、少ない熱履歴により急凝固組織が保持され、優れた機械的特性を有する部材を製造する技術開発に結びつけ、幾つかの工業製品の試作と評価を行った。本論文は、この研究成果についてまとめたものであり、全文9章よりなる。

第1章は序文であり、本研究の背景および目的を述べている。

第2章では、本研究に用いた粉末成形固化体の作製方法および評価方法に関して記述している。

第3章では、Al-Si-X系耐摩耗性合金粉末の粉末鍛造条件について検討した結果を述べている。ホットコイニング-熱間鍛造の二段粉末鍛造法によりその急凝固粉微細組織を維持しつつ成形固化し、多量のSiを添加した合金においても強度、靱性を維持した耐摩耗性部材を作製することが可能であることを示している。

第4章では、Al-Fe-X系耐熱性合金粉末に対して第3章で見出した粉末二段鍛造法の適用を検討し、優れた耐熱性を有する成形固化材を得ている。

第5章では、Al-TM-Ln系高比強度合金粉末の成形固化法を検討し、粉末直接成形法および粉末圧縮射出成形法を適用して高強度材が得られることを見出している。この結果は、室温金型成形の困難なAl-TM-Ln系急凝固アルミ合金粉末においても、粉末からの一段プロセスで成形固化が可能であることを示した点で重要な成果である。

第6章では、Al-Cr-TM系準結晶分散型合金粉末とセラミックス粉末の混合体を圧縮射出成形することにより、強度、伸びおよび耐摩耗性を兼ね備えた成形固化材を得ている。また、これはエンジン部品等への適用可能な材料としての特性も有していることを明らかにしている。

第7章では、微細結晶材の高速超塑性変形特性を利用した成形技術について検討し、最小限の熱履歴による組織制御状態において、短時間かつ高速の成形が可能であることを実証している。

第8章では、第7章までの成果に基づいた成形固化法の適用により、種々の急凝固アルミ合金粉末材の機械部品としての応用が可能であることを見出している。

第9章は総括である。

以上要するに本論文は、急凝固アルミ合金の粉末鍛造法を中心とした、少ない熱履歴でその急凝固組織を維持し、優れた機械的特性を引き出しつつ複雑形状部品に成形固化する手法の確立に成功したものであり、材料加工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。